

トンネルインバートせり上がりに対するロックボルト補強の施工

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○三城 一晃  
 西日本旅客鉄道株式会社 田中 幸生  
 西日本旅客鉄道株式会社 弓岡 省吾  
 清水建設株式会社 西名 伸博

1. はじめに

インバートを有するトンネルにおいて、側壁・インバート間の接合部（打継ぎ目）は、軸力方向に直交する形状が望ましい。しかしながら、この形状でのコンクリート打設は難しいため、鉛直方向に設けられていることがある。この場合、水平方向あるいは鉛直方向の力が卓越して作用すると、側壁・インバート間で軸力が円滑に伝達されず、インバートのせり上がりが発生する可能性がある。このため、施工法や周囲の状況から、接合部が鉛直に施工されたと推定される箇所でのインバートせり上がりを予防するために、複線トンネルにおいて、ロックボルトによる補強を行った。一般的に施工されている上向きのロックボルトに対して、下向きロックボルトの打設に際しては、多くの問題に遭遇した。その問題に対する解決策の提案と、施工事例について述べる。

2. 使用材料・施工方法に関する主な検討内容

1) ボルト種別の選定

ロックボルトは棒鋼タイプと中空タイプ  
 の2種類存在する。2種類のボルトの大きな違いは、定着材の注入方法で、棒鋼タイプは定着材を注入した後にボルトが挿入され、中空タイプは口元側からボルト内部を注入材が通過し（図-1 参照）、先端から噴出され、充填されながら口元まで戻ってくる方法である。既設トンネルに対しては、全面定着の確認が比較的容易な中空ボルトが多く使用されている。今回の施工でもこれを採用することとした。また、削孔した際に生じるスライムが下方に堆積し、人力でのロックボルト挿入施工が困難となることが考えられたため、自穿孔ボルトを採用した。

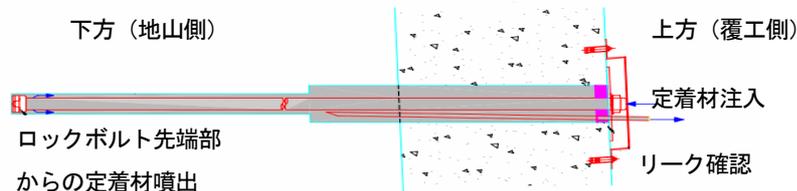


図-1 中空式ロックボルトの定着材注入例

2) ボルト長の選定

一般的に使用されているボルトは3m~4mのものが最も多い。類似設計の例やマニュアル<sup>※1)</sup>でも多くは4mまでのボルトを使用している。今回の施工では、可能な限り定着長を確保することが望ましいと判断し、長尺のボルト（注入品質や強度上の問題から継手無しのもの）で検討を進めた。その結果、トンネル断面に対して対応可能な程度である6mのボルトを採用した。

3) 削孔方法の検討

削孔機械については、既設新幹線トンネルでの打設用に開発したドリルジャンボ（図2）を使用し、削孔にあたっては、施工箇所が破碎帯であることが既存の情報により判明していたことから、孔壁崩壊の防止と、下向き削孔でも、削りカスを回収し易くするため、削孔水のかわりに、圧縮空気と孔内保護剤（主成分：合成界面活性剤）を混合させ、気泡化させた材料を採用した。

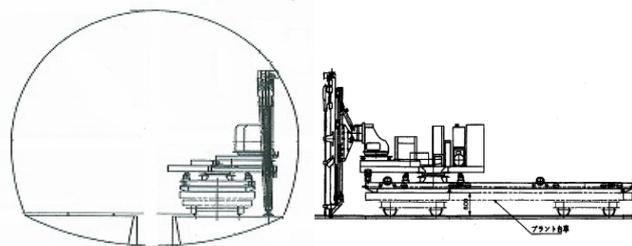


図2 ドリルジャンボ(インバート縁端部削孔姿勢)

4) 断面あたりの打設本数・位置の検討

打設本数については、類似設計を参考に<sup>※1)</sup>、図3に示すとおり、1断面あたり6本とした。打設位置と打設角度については表1に示す。なお、図3に示すⅢのボルトについては、鉛直に打設するとインバート下に存在する中央排水溝を損傷するため、角度をつけて施工した。

表1 ロックボルト打設位置

I. 側壁部	II. インバート縁端部	III. インバート中央部
側壁下部 覆工面に対して直角	インバート縁端から0.5m 鉛直方向	インバート中央部 インバート面に対して直角

キーワード: ロックボルト, インバート補強

連絡先: 〒673-0016 兵庫県明石市松の内2-3-8 西日本旅客鉄道(株)神戸土木技術センター TEL078-928-0532

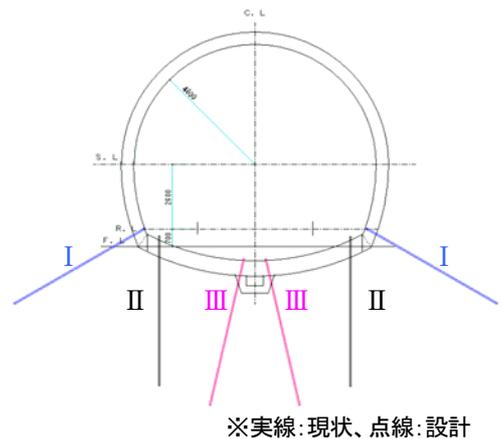
### 3. 計画段階での施工工程

これまでの上向きロックボルトの施工を参考に下記で計画した。

- ①1次削孔：削孔ロッドによる削孔3m
- ②自穿孔型ロックボルトの挿入
- ③2次削孔：自穿孔型ロックボルトによる削孔
- ④定着材注入

### 4. 施工を進めるうえで発生した問題

上記工程に基づき施工を進めた中で発生した問題点について述べる。ロックボルトの地山との定着は、定着材による全面定着方式である。注入完了の確認は覆工側での定着材のリークを基本とし、ボルト先端部からの定着材の噴出を重視した。しかしながら、一部の施工箇所において、ボルト先端部の噴出孔が閉塞し、充填できない事象が発生した。先端部からの注入ができない場合、品質を確保することが困難になるため、施工手順を見直した。



※実線：現状、点線：設計  
図3 打設位置断面図

### 5. 品質確保のための工程見直し

品質確保のため、以下の1)～3)について見直しを行った。

#### 1) 削孔工程

- ・1次削孔（3本継ぎの削孔ロッド使用）  
スライム堆積に備え、ロックボルトL=6mに対して余掘り1mを加え、削孔長7mとする。
- ・2次削孔（自穿孔型ロックボルト使用）  
削孔時にロックボルト先端部の定着材注入用の穴がスライムで詰まることを防ぐため、自穿孔型ロックボルトでの2次削孔は、スライム堆積により人力でロックボルトを6m挿入できない場合のみの最小限の実施とする。

#### 2) 施工サイクル

当社では、3. で述べたとおり、ロックボルト削孔・挿入と定着材注入を分割して行うことを標準としている。しかしながら、今回行った下向きの施工においては、ボルト挿入と定着材注入の施工日を分割して行うことで、ボルト先端部に地山の土砂が堆積し、凝固してしまうことで噴出孔が閉塞してしまう場合があることが判明した。このため、全面的な施工サイクルの見直しを図り、ロックボルト削孔・挿入と定着材注入を同日に行うこととした。

#### 3) 圧縮空気によるスライム強制排出

削孔を孔壁自立工法によることとしたが、スライムが全て排出しきれないため、定着材注入前に覆工側からロックボルト内部を通じて圧縮空気送入を行い、スライムの強制排出を実施した。スライムおよび水分の排出が終了したことの確認を行った後に、定着材注入を行った。

### 6. 工程見直しによる結果と今後の課題

#### 1) 工程見直しによる結果

工程の見直しにより、スライムが堆積する前に定着材注入を行うことが可能となり、ロックボルト先端部が閉塞し、先端部から定着材が噴出していないと考えられる事例は大幅に減少し、約200本のロックボルト打設を無事完了させることができた。

#### 2) 今後の課題

今後同種の施工を行う際に課題として考えられる事柄を以下に示す。

- ①本施工では、工程を見直したことにより、ドリルジャンボ1編成あたり1本/日という結果であったため、更なる施工速度の向上策について検討を行う必要がある
- ②地山に節理があり、注入材が口元からリークしない場合の品質確保の方策を更に検討する必要がある

### 7. まとめ

今回はインバートせり上りを予防するため、ロックボルト(L=6m)の打設を行った。下向き削孔のロックボルトはスライム対策を適切に施し、品質を高めることが重要であり、本施工では施工工程の見直しにより、仕上がり品質を向上させることができた。今後は、施工段階で導入した軸力が、将来にわたり継続して保持可能か確認する必要があると考えている。

#### <参考文献>

- 1) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル，1990.
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編 トンネル），2007.